

20037 14958



① BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 56 222 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 04 Q 7/22**  
H 04 Q 7/34  
H 04 Q 7/38

② Aktenzeichen: 100 56 222.1  
③ Anmeldetag: 13. 11. 2000  
④ Offenlegungstag: 23. 5. 2002

DE 100 56 222 A 1

⑦ Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

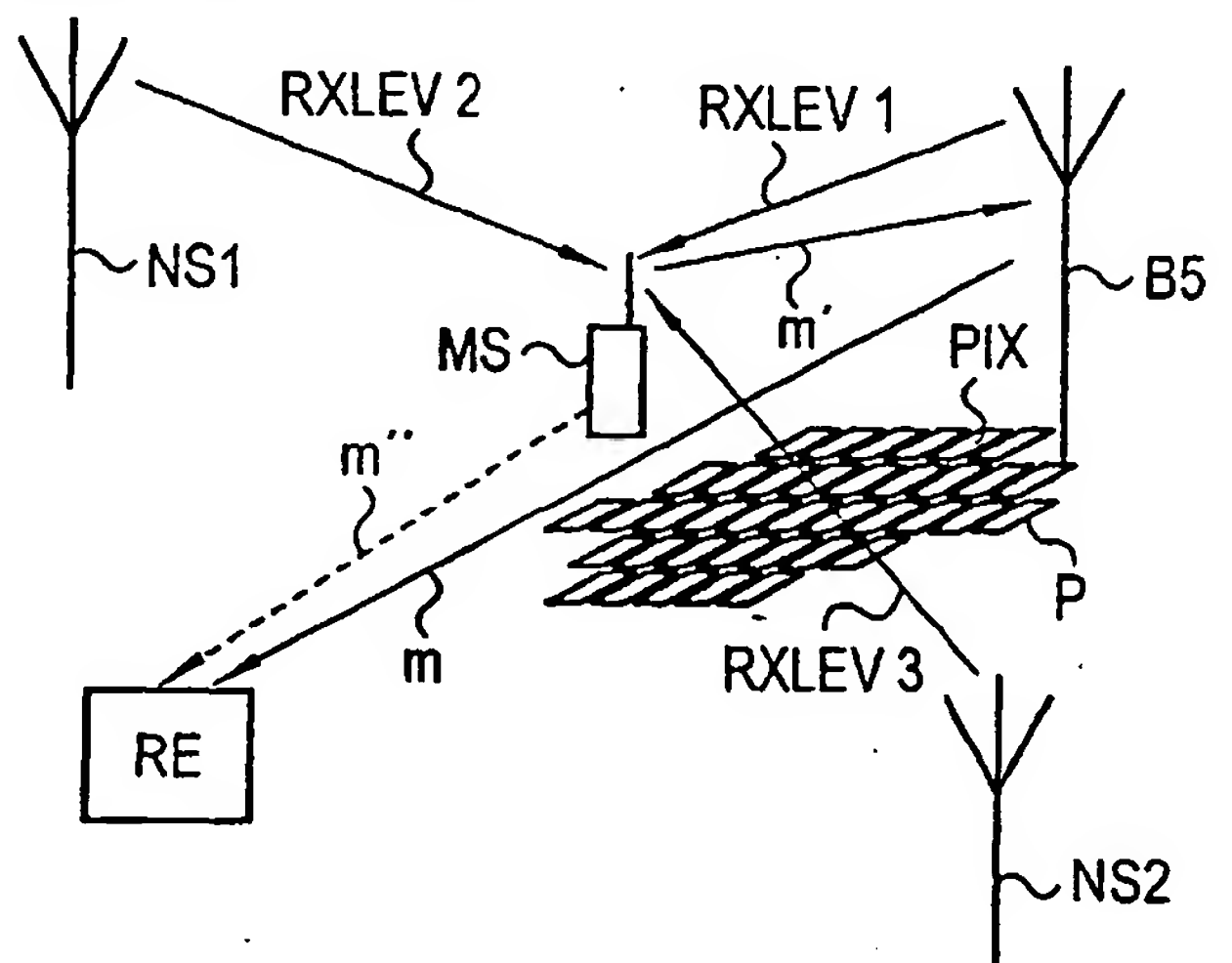
⑧ Erfinder:  
Majewski, Kurt, Dr., 81541 München, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤ Verfahren und Vorrichtung zur Verkehrslokalisierung in einem zellulären Mobilfunknetz

⑥ Der Anmeldungsgegenstand betrifft Verfahren und Vorrichtung zur Verkehrslokalisierung in einem zellulären Mobilfunknetz, bei dem mit Hilfe eines Störungsmodells, eines Kundenmodells und einer Erwartungsmaximierung, wodurch Beobachtungs- und Übergangswahrscheinlichkeiten für ein Hidden-Markov-Modell ermittelt werden, um die Wahrscheinlichkeit, mit der ein bestimmter Kunde einen Bericht von einem bestimmten Pixel aus sendet, zu ermitteln. Ausgehend von diesem Hidden-Markov-Modell können auch höchstwahrscheinliche Pfade eines oder mehrerer Kunden ermittelt werden.



DE 100 56 222 A 1

- [0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verkehrslokalisierung in einem zellulären Mobilfunknetz, bei dem mindestens eine Mobilstation, mindestens eine bedienende Basisstation und Nachbarbasisstationen vorhanden sind, wobei mindestens eine Sequenz aufeinanderfolgender Berichte mit Empfangsstärken an eine Recheneinheit gemeldet werden und wobei ein zu bedienender Bereich in Rasterzellen unterteilt ist.
- [0002] Ein derartiges Verfahren ist aus der internationalen Anmeldung WO 98/15149 bekannt.
- [0003] Prinzipiell kann eine genaue Lokalisierung beispielsweise durch einen im Mobilteil vorhandenen GPS-Empfänger relativ genau erfolgen. Dies ist jedoch teuer und benötigt eine freie Sicht zu drei Satelliten. Neben dem aufwendigeren Mobilteil sind auch größere Veränderungen in den Basisstationen erforderlich.
- [0004] Die intrazelluläre Verkehrsverteilung in Mobilfunknetzen kann nur indirekt beobachtet werden, indem man die von den Mobilstationen gemessenen RXLEV- und unter Umständen TA-Werte (timing advance) sammelt. Die RXLEV-Werte sind eine Anzahl von codierten Empfangsstärken der Basisstation und der nächsten Nachbarstationen, die für einen sogenannten Handover in Frage kommen. Die TA-Werte entsprechen der zeitlichen Verzögerung mit der die Bursts an der Basisstation empfangen werden und hängen von der Entfernung des Mobilteils von der Basisstation ab. Diese RXLEV-Werte und unter Umständen auch die TA-Werte sind jedoch wegen Fading- und Shadowing-Effekten stark verwechselt.
- [0005] In den IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 48, No. 5, Sept. 1999, Seiten 1558-1562 sind einige Methoden, zum Beispiel Kalmanfilter, Neuronale Netzwerke oder Mustererkennungsverfahren auf der Basis von Hidden-Markov-Modellen als prinzipielle Lösungsansätze bei komplizierten Umgebungsbedingungen mit Shadowing usw. erwähnt.
- [0006] Die nun zugrunde liegende Aufgabe besteht nun darin, ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung anzugeben, bei dem/der, auch bei starken Störungen durch Fading und Shadowing, eine schnelle und vor allem eine genauere Lokalisierung der einzelnen Mobilstation und damit eine bessere und effizientere Analyse des Kundenverhaltens insgesamt möglich ist.
- [0007] Diese Aufgabe wird hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 oder des Patentanspruchs 6 und hinsichtlich der Vorrichtung durch die Merkmale des Anspruchs 10 oder 11 erreicht.
- [0008] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen.
- [0009] Ein besonderer Vorteil der Erfindung liegt in seiner hohen Auflösung, die bei Simulationen zwischen 20 m und 100 m lag. Die Erfindung eignet sich vor allem auch für niedrige Geschwindigkeiten, wie sie beispielsweise bei Fußgängern auftreten, oder für Bewegungen mit relativ geringer Distanz.
- [0010] Die Erfindung weist insbesondere beim Auffinden von sogenannten "hot spots" in der Verkehrsverteilung Vorteile auf, da automatisch mehrere Kundenpfade überlagert werden und eine Tendenz besteht, daß Kunden an typischen Kundenpfaden gesammelt werden.
- [0011] Die Grundidee der Erfindung besteht darin, eine Mobilfunkzelle in Rasterzellen zu unterteilen, ein Störmodell auf der Basis einer approximierten Gaußverteilung mit Korrelationen zu verwenden, um die Unterschiede, aufgrund von Fading und Shadowing, zwischen dem berichteten und vorhergesagten Feldstärken zu modellieren, ein Hidden-Markov-Modell für die Rasterzellen anzugeben, das die Bewegungen der Mobilfunkteilnehmer bzw. der Kunden beschreibt und die Übergangswahrscheinlichkeiten des Hidden-Markov-Modells dadurch zu ermitteln, dass der Erwartungswert der berichteten Feldstärken maximiert wird. Die stationäre Verkehrsverteilung kann aus den Übergangswahrscheinlichkeiten des Hidden-Markov-Modells errechnet werden.
- [0012] Aus den Übergangswahrscheinlichkeiten des Markov-Modells und den Beobachtungswahrscheinlichkeiten des Störmodells kann aus einer Sequenz von Berichten ein höchst wahrscheinlicher Pfad eines Mobilteilnehmers ermittelt werden.
- [0013] Die Erfindung wird nun anhand eines in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.
- [0014] Dabei zeigt
- [0015] Fig. 1 eine Anordnung einer Mobilstation und mehreren Basisstationen zur Erläuterung der Erfindung und
- [0016] Fig. 2 einen Ausschnitt aus einer durch Rasterzellen unterteilten Mobilfunkzelle in Form von drei solchen Rasterzellen.
- [0017] In Fig. 1 ist eine Mobilstation MS, eine diese Mobilstation bedienende Basisstation BS sowie zwei zur Mobilstation nächst gelegene Basisstationen NS1 und NS2 dargestellt. Die Mobilstation MS misst Feldstärkewerte RXLEV1 der Basisstation BS Feldstärkewerte RXLEV2 der Station NS1 und Feldstärkewerte RXLEV3 der Station NS2 und meldet diese gemessene Feldstärkewerte zugeordnet zu den jeweiligen Basisstationen in Form einer Meldung m" direkt an eine Recheneinheit RE oder alternativ in Form einer Meldung m' an eine Basisstation, z. B. die Basisstation BS, meldet, welche dann z. B. Meldungen sammelt, unter Umständen weitere Meßwerte hinzufügt und in Form einer Gesamtmeldung m an die Recheneinheit RE meldet. Diese Recheneinheit RE wird sich typischerweise in einer Basisstation befinden, kann aber auch in einer von den Basisstation räumlich getrennten Einheit oder sogar in einer mobilen Station vorhanden sein. Mindestens eine zu der bedienenden Basisstation BS, gehörige Mobilfunkzelle ist durch ein Raster P mit einer Vielzahl von Raster oder Pixelzellen PIX weiter unterteilt. Die Größe einer solchen Rasterzelle liegt dabei typischerweise zwischen 10 x 10 m und 50 x 50 m, wobei dies beispielsweise davon abhängt, ob es sich um einen städtischen oder ländlichen Bereich handelt. Das Raster P bildet die Grundlage für ein Hidden-Markov-Modell, das in der Recheneinheit RE implementiert ist.
- [0018] In Fig. 2 sind drei solcher Rasterzellen PIX am Beispiel von drei benachbarten Rasterzellen p1, p2 und p3 dargestellt. Zwischen diesen Rasterzellen sind Übergangswahrscheinlichkeiten u vorhanden, wobei zwischen p1 und p2 eine Übergangswahrscheinlichkeit u12 und zwischen den Zellen p2 und p3 eine Übergangswahrscheinlichkeit u23 vorhanden ist. Falls die Zelle p1 die erste Zelle eines vom Mobilfunkteilnehmer beschrittenen Pfades darstellt, besteht eine Eingangswahrscheinlichkeit u01 zum Übergang auf die erste Zelle p1. In entsprechender Weise, wenn die Zelle p3 eine letzte Zelle eines vom Mobilfunkteilnehmer beschrittenen Pfades darstellt, besteht für das Verlassen der Zelle p3 eine

Ausgangswahrscheinlichkeit  $u_k()$ . Darüber hinaus bestehen für jedes Pixel Beobachtungswahrscheinlichkeiten  $f$ , die zum Ausdruck bringen, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmter Bericht von der jeweiligen Rasterzelle stammt.

[0019] Die Beobachtungswahrscheinlichkeit  $f_p(m) = 0$  für nicht in Frage kommende Pixel, weil z. B. der TA-Wert diese Pixel ausschließt, und berechnet sich sonst wie folgt:

$$f_p(m) := \frac{1}{M} \exp\left(-x^T \cdot V^{-1} \cdot x / 2\right),$$

wobei der Vektor  $x$  und der transponierte Vektor  $x^T$  aus den Differenzen von berichteten Feldstärkewerten aus einem jeweiligen Bericht  $m$  und zugehörigen vorausgesagten Feldstärkewerten gebildet werden. Die Matrix  $V^{-1}$  ist das inverse einer Kovarianzmatrix  $V$ , die folgende Gestalt hat:

$$V = \begin{pmatrix} a+b & b & & & \\ b & a+b & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & a+b & b \\ b & & & b & a+b \end{pmatrix}$$

wobei die Parameter  $a$  durch die physikalische Umgebung der jeweils betrachteten Basisstation und der Parameter  $b$  das physikalische Umfeld der Mobilstation berücksichtigt. Die Konstante  $M$  dient lediglich zur Normalisierung. Durch die oben genannten Gleichung wird ein Störungsmodell für Rasterzellen gebildet, mit dem für Rasterzellen aller relevanten Berichte Beobachtungswahrscheinlichkeiten  $f$  ermittelt werden.

[0020] Das Verhalten eines typischen Kunden oder Benutzers einer Mobilstation wird als Markov-Kette modelliert. Der Zustandsraum dieser Kette sind Rasterzellen oder Pixels eines Rasters  $P$  einer betrachteten Mobilfunkzelle und der spezielle Zustand Off. Der Kunde kann sich von einem Off-Zustand zu einem Rasterpixel, der einen beginnenden Anruf darstellt, bewegen. Der bei einem Pixel befindliche Kunde kann bei diesem Pixel verbleiben, sich zu einem Nachbarpixel bewegen oder zu einem Off-Zustand, der das Ende eines Telefongesprächs anzeigt, zurückkehren. Normalerweise gibt es nur vier Nachbarpixel: Nord, Ost, Süd und West. Falls sich die Mobilstation innerhalb einer Messzeit von bspw. 0,48 s weiter als die Größe eines Rasterelements bewegt, müssen mehr Nachbarpixel berücksichtigt werden. Dieses Modell basiert auf der Idee, dass jede Rasterzelle zu einem typischen Kundenverhalten gehört. Zum Beispiel bewegen sich Mobilstationen innerhalb eines Büros oder Wohngebäudes relativ selten, innerhalb Fußgängerbereichen bewegen sich Mobilstationen bzw. Kunden relativ langsam zu Nachbarpixeln und auf Autostraßen bewegen sich Mobilstationen häufig zu bestimmten Nachbarpixeln in Abhängigkeit der Richtung der Straße.

[0021] Ohne Vorwissen über das Kundenverhalten, abgesehen davon welche Pixel ausgehend von welchen Pixeln erreicht werden können, können aber zu Beginn Übergangswahrscheinlichkeiten wie folgt angenommen werden:

1.  $u_{p,q} = 1/(h+n)$ , falls das Pixel  $q$  vom Pixel  $p$  während einer Messperiode erreicht werden kann und sonst  $u_{p,q} = 0$ .
  2.  $u_{p,off} = (h+n-n')/(h+n)$ , für alle Pixel des Rasters, wobei  $n'$  die Zahl der Nachbarpixel von Pixel  $p$  ist.
  3.  $u_{off,p} = u_{p,off} / \sum_{p' \in P} u_{p',0}$  für alle Pixel des Rasters  $P$  und  $u_{off,off} = 0$
- $n$  ist dabei die maximale Zahl von Pixeln, die von einem festgelegten Pixel aus erreicht werden kann und  $h$  kann beispielsweise 1 gewählt werden.

[0022] Die Übergangswahrscheinlichkeiten des Markov-Modells können durch "Training" aufgrund von Berichten der betrachteten Mobilstationen verbessert bzw. den Verkehrsverhältnissen im Mobilfunknetz angepasst werden. Dabei wird ein Erwartungswert für die Berichte der beobachteten Kunden maximiert, das heißt der größte Wert für folgenden Ausdruck gesucht:

$$\sum_{\text{all possible } p_{i,j}} \prod_{\text{customers } i}^{number of customer n} u_{p_{i,0}, p_{i,1}} \prod_{\text{reports } j}^{path i length k} f_{p_{i,j}}(m_{i,j}) u_{p_{i,j}, p_{i,j+1}}$$

[0023] Eine Variante des Baum-Welch-Algorithmus, der beispielsweise aus dem Buch von Geoffrey J. McLaughlan and Thriyambakam Krishnan mit dem Titel "The EM Algorithm and Extensions, Wiley series in probability and statistics, John Wiley and Sons, 1997, bekannt ist, löst dieses Erwartungswert-Maximierungswert-Problem auf besonders vorteilhafte Weise. Dieser Algorithmus versucht die Erwartung, dass der Kunde, welcher sich entsprechend der Markov-Kette verhält, unter den speziellen Fading-Bedingungen diese Berichte mit den Messwerten erzeugt. Dieser Algorithmus arbeitet iterativ. Er beginnt beispielsweise mit gleichförmig initialisierten Übergangswahrscheinlichkeiten. Das Ausgangsmodell korrespondiert mit der oben erwähnten Situation, wo noch kein Wissen über das Kundenverhalten vorhanden ist. Unter der Beschränkung, dass der Benutzer sich nur zu einem Nachbarpixel bewegen kann, berechnet der Algorithmus, welche Übergänge häufiger als andere sind, angezeigt durch Beobachtungswahrscheinlichkeiten  $f_p(m)$  dass ein

Report  $m$  von einem bestimmten Pixel  $p$  stammt. Die nächste Iteration basiert auf den neuen verbesserten Übergangswahrscheinlichkeiten.

[0024] Über den Baum-Welch-Algorithmus werden einige Zwischenvariablen wie folgt definiert:

$$\begin{aligned}
 5 \quad \alpha_{i,1}^{(k)}(p) &= u_{\theta,p}^{(k)} f_p(\tau_{i,1}), \\
 \alpha_{i,j+1}^{(k)}(q) &= \left( \sum_{p \in P} \alpha_{i,j}^{(k)}(p) u_{p,q}^{(k)} \right) f_q(\tau_{i,j+1}) \\
 10 \quad \beta_{i,l(\tau_i)}^{(k)}(p) &= u_{p,\theta}^{(k)} f_p(\tau_{i,l(\tau_i)}), \\
 \beta_{i,j}^{(k)}(p) &= \left( \sum_{q \in P} \beta_{i,j+1}^{(k)}(q) u_{p,q}^{(k)} \right) f_p(\tau_{i,j}) \\
 15 \quad \xi_{i,0}^{(k)}(\theta, p) &= \frac{u_{\theta,p}^{(k)} \beta_{i,1}^{(k)}(p)}{\sum_{p' \in P} u_{\theta,p'}^{(k)} \beta_{i,1}^{(k)}(p')} \\
 \xi_{i,j}^{(k)}(p, q) &= \frac{\alpha_{i,j}^{(k)}(p) u_{p,q}^{(k)} \beta_{i,j+1}^{(k)}(q)}{\sum_{p' \in P} \sum_{q' \in P} \alpha_{i,j}^{(k)}(p') u_{p',q'}^{(k)} \beta_{i,j+1}^{(k)}(q')} \\
 25 \quad \xi_{i,j}^{(k)}(p, \theta) &:= 0 \\
 \xi_{i,l(\tau_i)}^{(k)}(p, \theta) &:= \frac{\alpha_{i,l(\tau_i)}^{(k)}(p) u_{p,\theta}^{(k)}}{\sum_{p' \in P} \alpha_{i,l(\tau_i)}^{(k)}(p') u_{p',\theta}^{(k)}} \\
 30 \quad \xi_{i,l(\tau_i)}^{(k)}(p, q) &:= 0.
 \end{aligned}$$

$\alpha$  bzw.  $\beta$  sind dabei Wahrscheinlichkeiten, dass der  $i$ -te Benutzer Messwerte  $m_{i,1}, \dots, m_{i,j}$  bzw.  $m_{i,j}, \dots, m_{i,1}$  ( $\tau_i$ ) berichtet und sich in Pixel  $p$  befindet, wenn er einen  $j$ -ten Bericht sendet, wobei  $l(\tau_i)$  die Nummer des letzten Berichts in der  $i$ -ten Sequenz darstellt. Der Buchstabe  $\theta$  bedeutet den Off-Zustand. Die Variable  $\xi$  ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich der  $i$ -te Benutzer sich beim Pixel  $p$  befindet während er seinen  $j$ -ten Bericht sendet und sich dann zum Nachbapixel  $q$  bewegt. Sind die Variablen  $\xi$  berechnet, so sind die neuen Übergangswahrscheinlichkeiten wie folgt definiert.

$$\begin{aligned}
 45 \quad u_{\theta,p}^{(k+1)} &= \frac{\sum_{i=1}^n \xi_{i,0}^{(k)}(\theta, p)}{\sum_{p' \in P} \sum_{i=1}^n \xi_{i,0}^{(k)}(\theta, p')} \\
 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_{i,0}^{(k)}(\theta, p) \quad \text{for } p \in P \\
 50 \quad u_{p,q}^{(k+1)} &= \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{l(\tau_i)} \xi_{i,j}^{(k)}(p, q)}{\sum_{q' \in P \cup \{\theta\}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{l(\tau_i)} \xi_{i,j}^{(k)}(p, q')} \quad \text{for } p \in P \text{ and } q \in P \cup \{\theta\}. \\
 55
 \end{aligned}$$

[0025] Es kann gezeigt werden, dass die neuen Übergangswahrscheinlichkeiten eine erhöhte Erwartung aufweisen. Durch Iteration der Berechnung der Zwischenvariablen und das Updaten von Übergangswahrscheinlichkeiten erhöht die Beobachtungswahrscheinlichkeiten. Es stellte sich heraus, dass 10 bis 50 Iterationen für eine angenäherte numerische Konvergenz üblicherweise ausreichen.

[0026] Die Zwischenvariablen  $\xi$  in der letzten Iteration können auch zur Berechnung der stationären Verteilung der Markov-Kette ohne Mehraufwand herangezogen werden. Die Wahrscheinlichkeit  $\pi_p$  dass ein bestimmter Kunde einen Bericht von Pixel  $p$  sendet, ergibt sich aus folgender Formel:

65

$$\pi_p^{\text{steady-state}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{l(r_i)} \sum_{q \in P \cup \{\theta\}} \xi_{i,j}(p, q)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{l(r_i)} \sum_{p' \in P} \sum_{q \in P \cup \{\theta\}} \xi_{i,j}(p', q)}.$$

5

[0027] Es kann nicht nur eine Wahrscheinlichkeit angegeben werden, mit der ein Kunde seinen Bericht von einem bestimmten Pixel aus sendet, sondern es können auch höchst wahrscheinliche Pfade eines Kunden bzw. eines oder mehrerer Mobilstationen ermittelt werden. Hierzu wird für einen Pfad  $p_1, \dots, p_k$  die Wahrscheinlichkeit, dass die Sequenz von Berichten  $m_1, \dots, m_k$  für ein festgelegtes Störungs- und Kundenmodell also für festgelegte Beobachtungswahrscheinlichkeiten und Übergangswahrscheinlichkeiten maximiert wird. Das Problem besteht also darin, einen Pfad  $p_1, \dots, p_k$  zu finden, der die größte Wahrscheinlichkeit hat, das heißt den folgenden Wert maximiert:

10

$$H(p_1, p_2, \dots, p_k) = u_{p_0, p_1} \prod_{\substack{\text{path length } k \\ \text{reports } j}} f_{p_j}(m_j) u_{p_j, p_{j+1}}$$

15

mit  $p_0 = p_{k+1} = \theta := \text{off}$ . Dieses Problem kann mit dem in der Nachrichtentechnik an sich wohl bekannten Viterbi-Algorithmus gelöst werden. Dieser Algorithmus wird hier wie folgt angewendet:

20

Eine Initialisierung für eine gegebene Folge von Berichten  $r = (m_1, \dots, m_k)$  erfolgt durch Setzen von  $\delta_k(p) = u_{p, \text{off}} f_p(m_k)$  für Pixel des Rasters. Dann erfolgt eine iterative Definition für  $j = l(r) - 1, \dots$ , und Pixel des Rasters.

$$\delta_j(p) := f_p(m_j) \max_{q \in P} \{u_{p,q} \delta_{j+1}(q)\}$$

25

$$\psi_j(p) := \arg \max_{q \in P} \{u_{p,q} \delta_{j+1}(q)\}.$$

30

[0028] Der optimale Pfad  $p^*_1, \dots, p^*_k$  ergibt sich durch Rückverfolgung der besten jeweiligen Auswahl durch

$$p_1^* := \arg \max_{p \in P} \{u_{\theta, p} \delta_1(p)\}$$

35

$$p_j^* := \psi_{j-1}(p_{j-1}^*) \quad \text{for } j = 2, \dots, l(r).$$

[0029] Diese Informationen können genutzt werden, um die Qualität der Dienste durch eine Optimierung der Einstellung zu verbessern, Problemzonen und -ursachen zu erkennen und zu beseitigen, notwendige Erweiterungen der Hardware zu planen und, als Fernziel, auf prekäre Lastsituationen in Echtzeit zu reagieren. Darüberhinaus können ortsabhängige Dienste für einzelne Kunden angeboten werden.

40

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Verkehrslokalisierung in einem zellulären Mobilfunknetz,

45

bei dem mindestens eine Mobilstation (MS), mindestens eine bedienende Basisstation (BS) und Nachbarbasisstationen (NS1, NS2) vorhanden sind,

mindestens eine Sequenz aufeinanderfolgender Berichte mit Empfangsstärken (RXLEV1..RXLEV3) an dem mindestens einen Mobilteil und/oder an der bedienenden Basisstation an eine Recheneinheit (RE) gemeldet werden,

bei dem mindestens ein durch die mindestens eine Basisstation bedienter Bereich in einzelne Rasterzellen (PIX, p1, p2, p3) unterteilt wird,

50

bei dem mit Hilfe eines Störungsmodells für Rasterzellen aller relevanten Berichte Beobachtungswahrscheinlichkeiten (f) ermittelt werden und

bei dem Eingangs-, Ausgangs- und/oder Übergangswahrscheinlichkeiten für die Rasterzellen derart bestimmt werden, dass ein Erwartungswert für die mindestens eine Sequenz von aufeinanderfolgenden Berichten durch verändern der Eingangs-, Ausgangs- und/oder Übergangswahrscheinlichkeiten maximiert wird, wobei der zu maximierende Erwartungswert dadurch definiert ist,

55

dass für eine Sequenz aufeinanderfolgender Berichte und für alle Pfade der selben Länge (k) das Produkt aus den Beobachtungswahrscheinlichkeiten (f) und den jeweiligen angenommenen Übergangswahrscheinlichkeiten (u) zwischen den Rasterzellen des Pfades gebildet wird,

60

das alle diese Produkte mit einer Eingangs- und Ausgangsübergangswahrscheinlichkeit ( $u_{01}, u_{k0}$ ) für die erste bzw. letzte Rasterzelle des Pfades zu einem ersten Gesamtprodukt multipliziert werden,

dass die ersten Gesamtprodukte für alle Sequenzen von aufeinanderfolgenden Berichten miteinander zu einem zweiten Gesamtprodukt multipliziert werden und

dass die zweiten Gesamtprodukte für alle möglichen Pfade zum jeweiligen Erwartungswert aufsummiert werden.

65

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Erwartungswert für die Berichte nach einer Variante des Baum-Welch-Algorithmus maximiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die Verkehrsverteilung ( $\pi$ ) aus Zwischenwerten des Baum-Welch-Algorithmus

mus errechnet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem die Verkehrsverteilung ( $\pi$ ) und/oder für Rasterpunkte die ungefähre Geschwindigkeitsverteilung aus den Eingangs-, Ausgangs- und Übergangswahrscheinlichkeiten ( $u$ ) errechnet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem aus einer jeweiligen Distanz und der Zeit zwischen den Rasterelementen zweier aufeinanderfolgender Berichte eine jeweilige ungefähre Geschwindigkeit der Mobilstation errechnet wird.

6. Verfahren zur Verkehrslokalisierung in einem zellulären Mobilfunknetz, bei dem mindestens eine Mobilstation (MS), mindestens eine bedienende Basisstation (BS) und Nachbarbasisstationen (NS1, NS2) vorhanden sind, mindestens eine Sequenz aufeinanderfolgender Berichte mit Empfangsstärken (RXLEV1..RXLEV3) an der mindestens einen Mobilstation und/oder an der bedienenden Basisstation an eine Recheneinheit (RE) gemeldet werden, bei dem mindestens ein durch die mindestens eine Basisstation bedienter Bereich in einzelne Rasterzellen (PIX, p1, p2, p3) unterteilt wird,

bei dem für alle für einen jeweiligen Bericht relevanten Rasterzellen Beobachtungswahrscheinlichkeiten ( $f$ ) vorhanden sind,

bei dem für alle für den jeweiligen Bericht relevanten Rasterzellen Eingangs-, Ausgangs- und Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den Rasterzellen vorhanden sind und

bei dem ein größtwahrscheinlicher Pfad zu einer Sequenz aufeinanderfolgender Berichte dadurch gefunden wird, dass eine Gesamtwahrscheinlichkeit durch Verändern der Pfade maximiert wird, wobei die zu maximierende Gesamtwahrscheinlichkeit eines Pfades dadurch definiert ist,

dass für alle aufeinanderfolgenden Berichte und für alle Pfade der selben Länge ( $k$ ) das Produkt aus den Beobachtungswahrscheinlichkeiten ( $f$ ) und den jeweiligen angenommenen Übergangswahrscheinlichkeiten ( $u$ ) zwischen den Rasterzellen des Pfades gebildet wird und

das alle diese Produkte zur Bildung der Gesamtwahrscheinlichkeit mit einer Eingangs- und Ausgangsübergangswahrscheinlichkeit ( $u01, u0$ ) für die erste bzw. letzte Rasterzelle des Pfades multipliziert werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem der größtwahrscheinlichen Pfad einer Sequenz von aufeinanderfolgenden Berichten der mindestens einen Mobilstation durch eine Variante des Viterbi-Algorithmus gebildet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, bei dem für einzelne oder mindestens eine Gruppe von Sequenzen von aufeinanderfolgenden Berichten und Mobilstationen über eine bestimmte Zeitdauer größtwahrscheinliche Pfade der jeweiligen Sequenz und Mobilstation getrennt erfasst werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem mit Hilfe eines Störungsmodells für eine jeweilige in Frage kommende Rasterzelle eine Beobachtungswahrscheinlichkeit ( $f$ ) derart ermittelt wird, dass Differenzen von gemessenen Empfangsstärken und vorhergesagten Empfangsstärken für eine jeweilige Rasterzelle zu einem Vektor ( $x$ ) zusammengefasst werden,

dass das Inverse einer Kovarianzmatrix, die die typischen zweiten Momente des Vektors ( $x$ ) an der jeweiligen Rasterzelle charakterisiert, von links mit dem transponierten und rechts mit dem Vektor selbst sowie mit dem Faktor  $-1/2$  multipliziert wird,

dass für das so erhaltene Produkt der zugehörige Wert einer Exponentialfunktion berechnet und dieses Ergebnis anschließend durch eine Konstante normalisiert wird.

10. Vorrichtung zur Verkehrslokalisierung in einem zellulären Mobilfunknetz, bei dem mindestens eine Mobilstation (MS), mindestens eine bedienende Basisstation (BS) und Nachbarbasisstationen (NS1, NS2) vorhanden,

mindestens eine Sequenz aufeinanderfolgender Berichte mit Empfangsstärken (RXLEV1..RXLEV3) an der mindestens einen Mobilstation und/oder an der bedienenden Basisstation an eine Recheneinheit (RE) gemeldet werden, bei der mindestens ein durch die mindestens eine Basisstation bedienter Bereich vorhanden ist, der in einzelne Rasterzellen (PIX, p1, p2, p3) unterteilt ist,

bei dem ein Störungsmodells vorhanden ist, das für alle Rasterzellen relevanter Berichte Beobachtungswahrscheinlichkeiten ( $f$ ) ermittelt, und

bei der ein Mittel zur Bestimmung von Eingangs-, Ausgangs- und/oder Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den Rasterzellen derart vorhanden ist, dass ein Erwartungswert für die Berichte der mindestens einen Mobilstation (MS) durch Verändern der Eingangs-, Ausgangs- und/oder Übergangswahrscheinlichkeiten maximiert wird, wobei der jeweils zu maximierende Erwartungswert dadurch definiert ist,

dass für eine Sequenz aufeinanderfolgender Berichte und für alle Pfade der selben Länge ( $k$ ) das Produkt aus den Beobachtungswahrscheinlichkeiten ( $f$ ) und den jeweiligen angenommenen Übergangswahrscheinlichkeiten ( $u$ ) zwischen den Rasterzellen des Pfades gebildet wird,

das alle diese Produkte mit einer Eingangs- und Ausgangsübergangswahrscheinlichkeit ( $u01, u0$ ) für die erste bzw. letzte Rasterzelle des Pfades zu einem ersten Gesamtprodukt multipliziert werden,

dass die ersten Gesamtprodukte für alle Sequenzen von aufeinanderfolgenden Berichten miteinander zu einem zweiten Gesamtprodukt multipliziert werden und

dass die zweiten Gesamtprodukte für alle möglichen Pfade zum jeweiligen Erwartungswert aufsummiert werden.

11. Vorrichtung zur Verkehrslokalisierung in einem zellulären Mobilfunknetz,

bei der mindestens eine Mobilstation (MS), eine bedienende Basisstation (BS) und mindestens eine Nachbarbasisstation (NS1, NS2) vorhanden sind,

mindestens eine Sequenz aufeinanderfolgender Berichte mit Empfangsstärken (RXLEV1..RXLEV3) an der mindestens einen Mobilstation und/oder an der bedienenden Basisstation an eine Recheneinheit (RE) gemeldet werden, bei der mindestens ein durch die mindestens eine Basisstation bedienter Bereich vorhanden ist, der in einzelne Rasterzellen (PIX, p1, p2, p3) unterteilt ist,

bei der für alle für einen jeweiligen Bericht relevanten Rasterzellen Beobachtungswahrscheinlichkeiten (f) vorhanden sind,

bei dem für alle für den jeweiligen Bericht relevanten Rasterzellen Eingangs-, Ausgangs- und Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den Rasterzellen vorhanden sind und

bei dem ein Mittel zum Finden eines größtwahrscheinlichen Pfades der mindestens einen Mobilstation vorhanden ist, das den jeweiligen größtwahrscheinlichen Pfad dadurch findet, dass eine Gesamtwahrscheinlichkeit durch Verändern der Pfade maximiert wird, wobei die jeweils zu maximierende Gesamtwahrscheinlichkeit dadurch definiert ist, 5

dass für alle aufeinanderfolgenden Berichte und für alle Pfade der selben Länge (k) das Produkt aus den Beobachtungswahrscheinlichkeiten (f) und den jeweiligen angenommenen Übergangswahrscheinlichkeiten (u) zwischen den Rasterzellen des Pfades gebildet wird und 10

das alle diese Produkt zur Bildung der Gesamtwahrscheinlichkeit mit einer Eingangs- und Ausgangsübergangswahrscheinlichkeit ( $u_{01}$ ,  $u_{k0}$ ) für die erste bzw. letzte Rasterzelle des Pfades multipliziert werden.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG 1

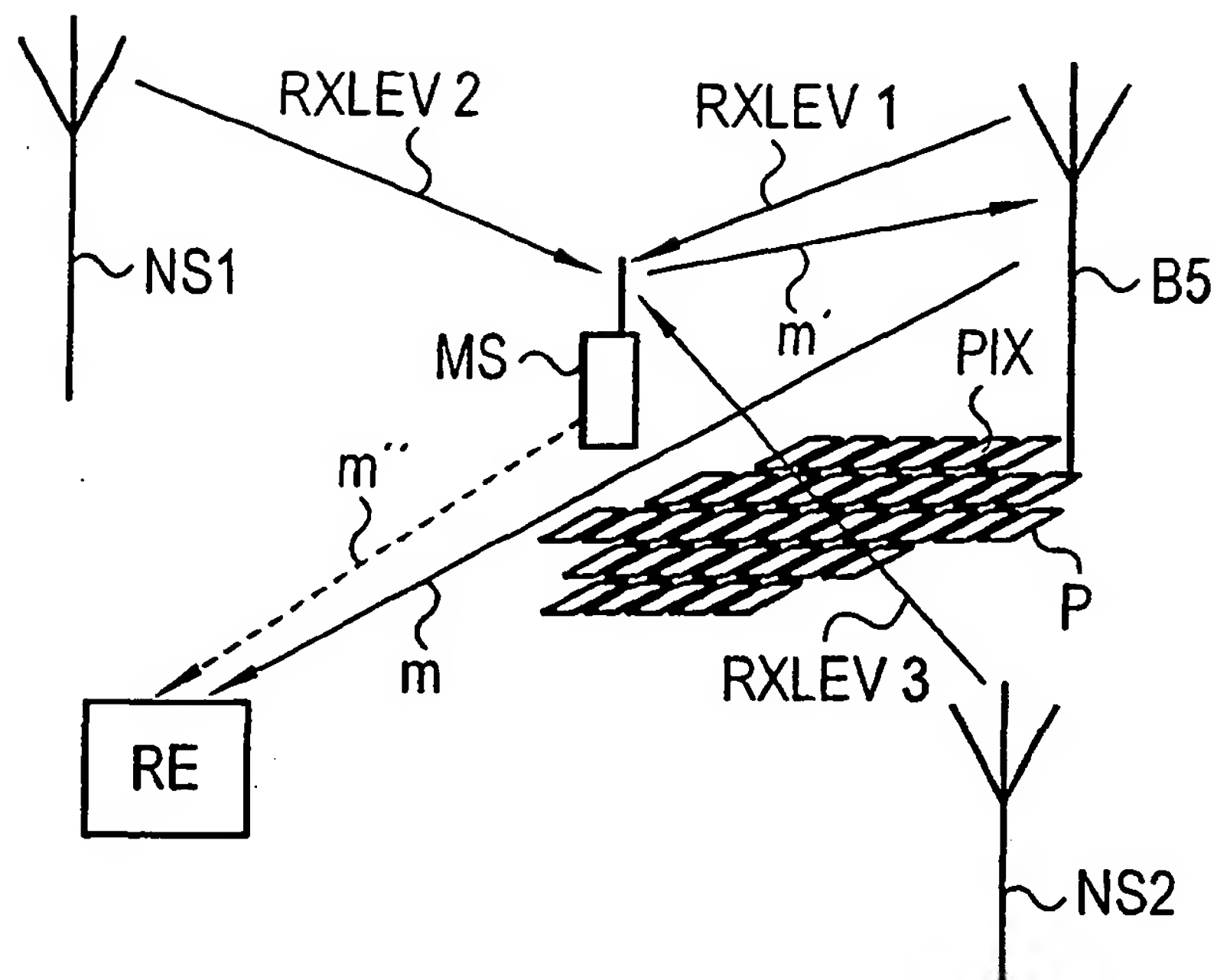
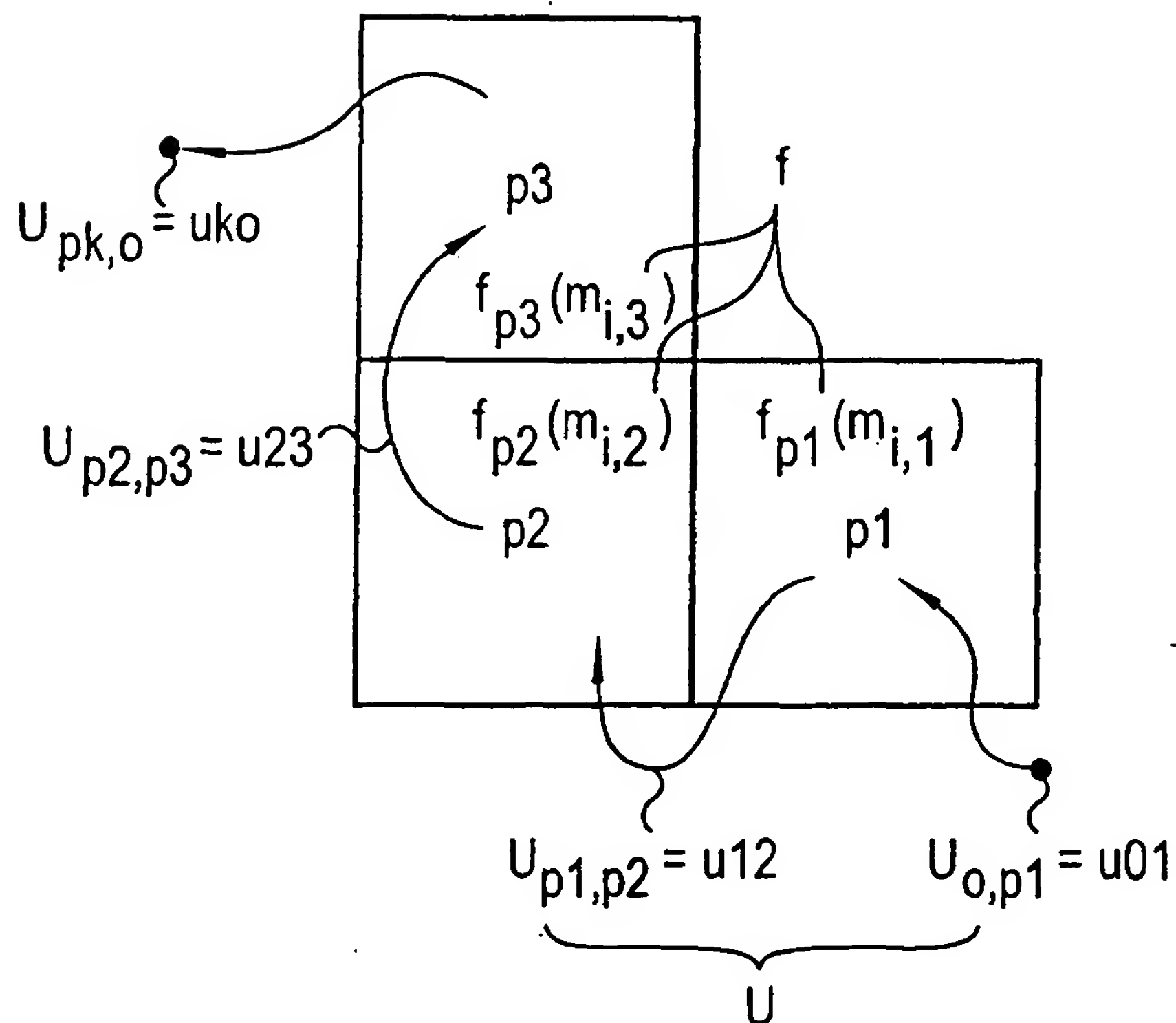


FIG 2



Translation of EP 1334641 B1 which claims  
priority of DE 100 56 222<sup>1</sup> and has not substantially  
Description Changed.

The invention relates to a method for traffic localization in a cellular mobile radio network, with at least one mobile station, one serving base station and adjacent stations being present, with at least one sequence of successive reports with reception strengths being signaled to a data processor and with an area to be served being subdivided into grid cells.

10 A method of this kind is known from International Application WO 98/15149.

15 In principle, a precise localization can, for example, take place relatively accurately by means of a GPS receiver in the mobile part. This is, however, expensive and requires a clear view to three satellites. In addition to the more expensive mobile part, considerable changes to the base stations are also necessary.

20 The intracellular traffic distribution in mobile radio networks can be only indirectly observed, in that the RXLEV, and under certain circumstances TA (timing advance), values measured by the mobile stations are collected. The RXLEV values are a number of coded reception strengths of the base station and of the next adjacent stations that are used for a handover. The TA values correspond to the time delay with which the bursts are received at the base station and depend on the distance between the mobile part and the base station. These RXLEV values, and under certain circumstances also the  
25 TA values are, however, very noisy due to fading and shadowing effects.

In IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 48, No. 5, Sept. 1999, pages 1558-1562, some methods, for example Kalman  
35 filters, neural networks or pattern detection methods based on Hidden-Markov models are mentioned as the principle approaches to solving complicated environmental conditions with shadowing, etc.

From the IEEE paper "New Methods for Processing GSM Radio Measurement Data: Applications for Locating, Handover and Network Management", Vehicular Technology Conference, 1994

5 IEEE 44th Stockholm, SE, 8-10.06.1994; M. Junius et al., methods are known from traffic localization in a cellular mobile radio network, whereby the cells are divided in sectors with a route section being described, for example, by a Hidden-Markov model, with characteristic changes in the  
10 reception strengths being represented by the parameters of this model and with reception strengths generated for certain route sections being compared with measured reception strengths and from this a route section more likely used by mobile subscribers being determined.

15 From the German application paper laid open for public inspection DE 199 34 845 A1, a method is known for estimating Hidden-Markov models with a low memory requirement.

20 The object of the invention is now to provide a method or device whereby a fast and above all more accurate localization of the individual mobile station and thus a better and more efficient analysis of the customer behavior overall is possible even where there is strong interference due to fading  
25 and shadowing.

The objective is achieved with regard to the method by the features of Claim 1 and with regard to the device by the features of Claim 10.

30 Advantageous embodiments of the invention are provided by the further claims.

A particular advantage of the invention is in its high  
35 resolution, that in simulations was shown to be between 20 m and 100 m. The invention is also particularly suitable for low speeds, such as occur with pedestrians, or for movement over a relatively short distance.

The invention has advantages, particularly when finding hot spots in the traffic distribution, because several customer paths are automatically superimposed and there is a tendency  
 5 for customers to be collected on typical customer paths.

The basic idea of the invention is to divide a mobile radio cell into grid cells, to use an interference model based on an approximated Gaussian distribution with correlations, in order  
 10 to model the differences between the reported and predicted field strengths on the basis of fading and shadowing, to provide a Hidden-Markov model for the grid cells that describes the movements of the mobile radio user or of the customers and in this way to determine the transition  
 15 probabilities of the Hidden-Markov model so that the expected value of the reported field strengths is maximized. The stationary traffic distribution can be calculated from the transition probabilities of the Hidden-Markov model.

20 From the transition probabilities of the Markov model and the observed probabilities of the interference model, a maximum probability path of a mobile user can be determined from a sequence of reports.

25 The invention is now explained in more detail by means of an exemplary embodiment shown in the drawings.

These are as follows:

30 Figure 1 An arrangement of a mobile station and several base stations for explaining the invention, and

Figure 2 A section from a mobile radio cell subdivided by grid cells, showing three such grid cells.

35 Figure 1 shows a mobile station MS, a base station BS serving this mobile station and two base stations NS1 and NS2 next to the mobile station. The mobile station MS measures the field

strength values RXLEV1 of the base station BS, field strength values RXLEV2 of the station NS1 and field strength values RXLEV3 of station NS2 and signals these measured field strength values, allocated to the relevant base stations, in the form of a message  $m''$  directly to a data processor RE, or alternatively in the form of a message  $m'$  to a base station, e.g. base station BS, that then, for example, assembles messages, and under certain circumstances adds further measured values, and signals these to the data processor RE as a total message  $m$ . This data processor RE is typically located in a base station but can also be a unit spatially separated from the base station or can even be installed in a mobile station. At least one of the mobile radio cells belonging to the base station BS to be served is further subdivided by a grid P with a number of grids or pixel cells PIX. The size of such a grid cell in this case is typically between 10x10 m and 50x50 m, whereby this, for example, depends on whether it is an urban or country area. Grid P forms the basis for a Hidden-Markov model implemented in the data processor RE.

Figure 2 shows three such grid cells PIX using three adjacent grid cells  $p_1$ ,  $p_2$  and  $p_3$  as an example. Transition probabilities  $u$  are present between these grid cells with a transition probability  $u_{12}$  between  $p_1$  and  $p_2$  and a transition probability  $u_{23}$  between cells  $p_2$  and  $p_3$ . If the cell  $p_1$  is the first cell of a path used by a mobile radio user, there is an entry probability  $u_{01}$  of transition to the first cell  $p_1$ . In a corresponding manner, if cell  $p_3$  is the last cell of a path used by a mobile radio user, there is an exit probability  $u_{k0}$  of leaving cell  $p_3$ . Furthermore, there are observed probabilities  $f$  for each pixel, that express the probability of a specific report originating from the relevant grid cell.

The observed probability  $f_p(m) = 0$  for pixels not under consideration, because, for example, the TA value precludes these pixels, is otherwise calculated as follows

$$f_p(m) := \frac{1}{M} \exp(-x^T \cdot V^{-1} \cdot x/2),$$

with the vector  $x$  and the transposed vector  $x^T$  being formed from the difference between reported field strength values from a particular report  $m$  and the associated predicted field strength values. The matrix  $V^{-1}$  is the inverse of a covariant matrix  $V$ , that has the following form

$$V = \begin{pmatrix} a+b & b & b \\ b & a+b & b \\ b & b & a+b \end{pmatrix}$$

with the parameters  $a$  being allowed for by the physical environment of the particular base station under consideration and parameter  $b$  by the physical environment of the mobile station. The constant  $M$  serves only for normalization. By means of the above equation, an interference model for grid cells is formed, with observed probabilities  $f$  being determined for all reports relevant to grid cells.

The behavior of a typical customer or user of a mobile station is modeled as a Markov chain. The status space of this chain is grid cells or pixels of a grid  $P$  of a mobile radio cell under consideration and the special status OFF. The customer can move from an OFF status to a grid pixel that represents the start of a call. The customer at a pixel can remain at this pixel, move to an adjacent pixel or return to an OFF state that represents the end of a telephone call. Normally, there are only four adjacent pixels: North, East, South, and West. If the mobile station moves further than the size of a grid element within a measured period of, for example, 0.48 s, more adjacent pixels must be taken into account. This model is based on the idea that each grid cell belongs to a typical customer behavior. For example, mobile stations move relatively seldom within an office or dwelling, within

pedestrian areas mobile stations or customers move relatively slowly to adjacent pixels and on highways mobile stations frequently move to certain adjacent pixels depending on the direction of the road.

5

Without advance knowledge of the customer's behavior, regardless of which pixel can be reached starting from which pixel, transition probabilities can, however, be assumed from the start as follows:

10

1.  $u_{p,q} := 1/(h+n)$ , if the pixel  $q$  can be reached from pixel  $p$  during a measuring period and otherwise  $u_{p,q} = 0$ .

15

2.  $u_{p,off} := (h+n-n')/(h+n)$ , for all pixels in the grid, with  $n'$  being the number of adjacent pixels to pixel  $p$ .

3.  $u_{off,p} = u_{p,off} / \sum_{p' \in P} u_{p',0}$  for all pixels in grid  $p$  and  $u_{off,off} := 0$ .

20

$n$  in this case is the maximum number of pixels that can be reached from a specified pixel and  $h$  can, for example, be chosen as 1.

25

The transition probabilities of the Markov model can be improved, or matched to the traffic conditions in the mobile radio network, by "training" based on reports from the observed mobile stations. In this way, an expected value for the reports of the observed customers is maximized, i.e. the largest value for the following expression is sought.

30

$$\sum_{\text{all possible } p_{i,j}} \prod_{\substack{\text{number of customer } n \\ \text{customers } i}} u_{p_{i,0}, p_{i,1}} \prod_{\substack{\text{path } i \text{ length } k \\ \text{reports } j}} f_{p_{i,j}}(m_{i,j}) u_{p_{i,j}, p_{i,j+1}}$$

35

A variant of the Baum-Welch algorithm known, for example, from the book by Geoffrey J. McLaughlan and Thriyambakam Krishnan, entitled "The EM Algorithm and Extensions, Wiley series in

probability and statistics, John Wiley and Sons, 1997, solves this expected value maximization value problem in a particularly advantageous manner. This algorithm attempts to anticipate that the customer who behaves according to the Markov chain generates these reports with the measured values under these special conditions. This algorithm works iteratively. It begins, for example, with the uniformly initialized transition probabilities. The initial model corresponds to the aforementioned situation where there is still no knowledge of the customer behavior. Under the limitation that the user can move only to the next adjacent pixel, the algorithm calculates which transitions are more frequent than others, indicated by observed probabilities  $f_p(m)$  that a report  $m$  originates from a certain pixel  $p$ . The next iteration is based on the new improved transition probabilities.

By means of the Baum-Welch algorithm, certain intermediate variables are defined as follows:

$$\begin{aligned}
 \alpha_{i,1}^{(k)}(p) &= u_{\theta,p}^{(k)} f_p(r_{i,1}), \\
 \alpha_{i,j+1}^{(k)}(q) &= \left( \sum_{p \in P} \alpha_{i,j}^{(k)}(p) u_{p,q}^{(k)} \right) f_q(r_{i,j+1}) \\
 \beta_{i,l(r_i)}^{(k)}(p) &= u_{p,\theta}^{(k)} f_p(r_{i,l(r_i)}), \\
 \beta_{i,j}^{(k)}(p) &= \left( \sum_{q \in P} \beta_{i,j+1}^{(k)}(q) u_{p,q}^{(k)} \right) f_p(r_{i,j}) \\
 \xi_{i,0}^{(k)}(\theta, p) &= \frac{u_{\theta,p}^{(k)} \beta_{i,1}^{(k)}(p)}{\sum_{p' \in P} u_{\theta,p'}^{(k)} \beta_{i,1}^{(k)}(p')} \\
 \xi_{i,j}^{(k)}(p, q) &= \frac{\alpha_{i,j}^{(k)}(p) u_{p,q}^{(k)} \beta_{i,j+1}^{(k)}(q)}{\sum_{p' \in P} \sum_{q' \in P} \alpha_{i,j}^{(k)}(p') u_{p',q'}^{(k)} \beta_{i,j+1}^{(k)}(q')} \\
 \xi_{i,j}^{(k)}(p, \theta) &:= 0 \\
 \xi_{i,l(r_i)}^{(k)}(p, \theta) &:= \frac{\alpha_{i,l(r_i)}^{(k)}(p) u_{p,\theta}^{(k)}}{\sum_{p' \in P} \alpha_{i,l(r_i)}^{(k)}(p') u_{p',\theta}^{(k)}} \\
 \xi_{i,l(r_i)}^{(k)}(p, q) &:= 0.
 \end{aligned}$$

$\alpha$  or  $\beta$  in this case are probabilities that the  $i$ th user reports measured values  $m_{i,1}, \dots, m_{i,j}$  or  $m_{i,j}, \dots, m_{i,l(r_i)}$  and is in pixel  $p$  when he sends a  $j$ th report, with  $l(r_i)$  being the number of the last report in the  $i$ th sequence. The letter  $\Theta$  means the OFF state. The variable  $\xi$  is the probability that the  $i$ th user is at pixel  $p$  when he is transmitting his  $j$ th report and that he then moves to the adjacent pixel  $q$ . If the variables  $\xi$  are calculated, the new transition probabilities are defined as follows.

$$\begin{aligned} u_{\theta,p}^{(k+1)} &= \frac{\sum_{i=1}^n \xi_{i,0}^{(k)}(\theta, p)}{\sum_{p' \in P} \sum_{i=1}^n \xi_{i,0}^{(k)}(\theta, p')} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_{i,0}^{(k)}(\theta, p) \quad \text{for } p \in P \end{aligned}$$

$$u_{p,q}^{(k+1)} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{l(r_i)} \xi_{i,j}^{(k)}(p, q)}{\sum_{q' \in P \cup \{\theta\}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{l(r_i)} \xi_{i,j}^{(k)}(p, q')} \quad \text{for } p \in P \text{ and } q \in P \cup \{\theta\}.$$

It can be shown that the new transition probabilities have an increased expectation. By iteration of the calculation of the intermediate variables and updating transition probabilities, the observed probabilities increase. It was shown that 10 to 50 iterations were normally sufficient for an approximate numerical convergence.

The intermediate variables  $\xi$  in the last iteration can also be used without additional cost to calculate the stationary distribution of the Markov chain. The probability  $\pi_p$  that a specific customer transmits a report from pixel  $p$  is obtained from the following formula.

$$\pi_p^{\text{steady-state}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{l(r_i)} \sum_{q \in P \cup \{\theta\}} \xi_{i,j}(p, q)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{l(r_i)} \sum_{p' \in P} \sum_{q \in P \cup \{\theta\}} \xi_{i,j}(p', q)}.$$

It is possible not only to give the probability with which a customer transmits his report from a certain pixel, but the most probable paths of a customer, or of one or more mobile

stations, can also be determined. Furthermore, for a path  $p_1, \dots, p_k$  the probability that the sequence of reports  $m_1, \dots, m_k$  for a specified interference and customer model, i.e. for specified observed probabilities and transition probabilities, can be maximized. The problem therefore is to find a path  $p_1, \dots, p_k$  that has the greatest probability, i.e. that maximizes the following value:

$$H(p_1, p_2, \dots, p_k) = u_{p_0, p_1} \prod_{\substack{\text{path length } k \\ \text{reports } j}} f_{p_j} (m_j) u_{p_j, p_{j+1}}$$

where  $p_0 := p_{k+1} := \Theta := \text{off}$ .

This problem can be solved by the Viterbi algorithm, well known in telecommunication engineering. This algorithm is in this case used as follows.

An initialization for a given sequence of reports  $r = (m_1, \dots, m_k)$  takes place by setting  $\delta_k(p) = u_{p, \text{off}} f_p(m_k)$  for pixels in the grid. There then follows an iterative definition for  $j = l(r) - 1, \dots$ , and pixels in the grid.

$$\begin{aligned} \delta_j(p) &:= f_p(m_j) \max_{q \in P} \{u_{p,q} \delta_{j+1}(q)\} \\ \psi_j(p) &:= \arg \max_{q \in P} \{u_{p,q} \delta_{j+1}(q)\}. \end{aligned}$$

The optimum path  $p^*_1, \dots, p^*_k$  is obtained by tracing the best selection in each case by means of

$$\begin{aligned} p^*_1 &:= \arg \max_{p \in P} \{u_{\Theta, p} \delta_1(p)\} \\ p^*_j &:= \psi_{j-1}(p^*_{j-1}) \text{ for } j = 2, \dots, l(r). \end{aligned}$$

This information can be used to improve the quality of services by optimizing the setting, to detect and rectify problem zones and causes, to plan the necessary upgrades of hardware and, as a long-term aim, to react in real time to precarious load situations. Furthermore, local services can be offered for individual customers.

## Claims

1. Method for traffic localization in a cellular mobile radio network,

- 5       - whereby at least one mobile station (MS), at least one serving base station (BS) and adjacent stations (NS1, NS2) are present,
- 10       - at least one sequence of successive reports with reception strengths (RXLEV1.. RXLEV3) is transmitted to a data processor (RE) at the mobile part, of which there is at least one, and/or at the serving base station,
- 15       - whereby at least one area served by at least one base station is subdivided into single grid cells (PIX, p1, p2, p3),
- 20       - whereby observed probabilities (f) for grid cells of all relevant reports are determined with the aid of an interference model and
- 25       - whereby the entrance, exit and/or transition probabilities for the grid cells are determined in such a way that an expected value for at least one sequence of successive reports is maximized by changing the entry, exit and/or transition probabilities, with the expected value to be maximized being thus defined,
- 30       -- for a sequence of successive reports and for all paths of the same length (k) the product of the observed probabilities (f) and the particular assumed transition probabilities (u) between the grid cells of the path is formed,
- 35       -- all these products are multiplied by an entry and exit transition probability (u01, uk0) for the first or last grid cell of the path to form a first total product,
- the first total products for all sequences of successive reports are multiplied by each other to form a second total product and
- the second total products for all possible paths are totalized to form the relevant expected value.

2. Method in accordance with claim 1,

whereby the expected value is maximized for the reports in accordance with a variant of the Baum-Welch algorithm.

3. Method in accordance with claim 2,  
5       whereby the traffic distribution ( $\pi$ ) is calculated from the intermediate values of the Baum-Welch algorithm.
4. Method in accordance with one of claims 1 or 2,  
      whereby the traffic distribution ( $\pi$ ) and/or for grid points  
10       the approximate speed distribution is calculated from the entry, exit and transition probabilities ( $u$ ).
5. Method in accordance with one of claims 1 or 2,  
      whereby a particular approximate speed of the mobile  
15       station is calculated from a relevant distance and the time between the grid elements of two successive reports.
6. Method for traffic localization in a cellular mobile network in accordance with claim 1,  
20       - with a path of greatest probability for a sequence of successive reports being found so that a total probability is maximized by changing the path, whereby the total probability of maximization of a path is defined in that,  
      -- for all successive reports and for all paths of the same  
25       length ( $k$ ) the product of the observed probabilities ( $f$ ) and the relevant assumed transition probabilities ( $u$ ) between the grid cells of a path is formed and  
      -- all these products are multiplied by an entry and exit transition probability ( $u_{01}$ ,  $u_{k0}$ ) for the first or last  
30       grid cell of the path in order to form the total probability.
7. Method in accordance with claim 6,  
      with the path of greatest probability of a sequence of  
35       successive reports of at least one mobile station being formed by using a variant of the Viterbi algorithm.
8. Method in accordance with one of claims 6 or 7,

whereby for single or at least one group of sequences of successive reports and mobile stations the paths of greatest probability of the relevant sequence and mobile station are found separately over a specific time period.

5

9. Method in accordance with one of the preceding claims, whereby with the aid of an interference model for a relevant grid cell under consideration an observed probability (f) is determined in such a way

10

-- that differences in measured reception strengths and predicted reception strengths for a particular grid cell are combined to form a vector (x),

15

-- that the inverse of a covariant matrix that characterizes the typical second moments of the vector (x) at the particular grid cell is multiplied from the left by the transposed vector and from the right by the vector itself and by the factor  $-1/2$ ,

20

-- that the associated value of an exponential function is calculated for the product obtained in this way and the result is then normalized by a constant.

10. Device for traffic localization in a cellular mobile radio network,

25

- whereby at least one mobile station (MS), at least one serving base station (BS) and adjacent base stations (NS1, NS2) are present in such a way that a data processing unit (RE) is present, to which at least one sequence of successive reports containing reception strengths (RXLEV1.. RXLEV3) is signaled at the mobile station, of which there is at least one, and/or at the serving base station,

30

- whereby at least one area served by at least one base station is present, said area being subdivided into individual grid cells (PIX, p1, p2, p3),

35

- whereby an interference model for determining observed probabilities (f) for all grid cells of relevant reports is present,

- whereby a means for determining entry, exit and/or transition probabilities is present between the grid cells and

- whereby means for maximizing an expected value for the reports of at least one mobile station (MS) are present, whereby this takes place by changing the entry, exit and/or transition probabilities and whereby the expected value to be maximized in each case is defined in that,

-- for a sequence of successive reports and for all paths of the same length (k) the product of the observed probabilities (f) and the relevant assumed transition probabilities (u) between the grid cells of the path is formed,

-- all these products are multiplied by an entry and exit transition probability ( $u_{01}$ ,  $u_{k0}$ ) for the first or last grid cell of the path in order to form a first total product,

-- the first total products for all sequences of successive reports are multiplied by each other to form a second total product and

-- the second total products for all possible paths are totalized to form the relevant expected value.

11. Device for traffic localizing in a cellular mobile radio network in accordance with claim 10,

- whereby a means for finding a path of greatest probability of at least one mobile station is present, that finds the particular path of greatest probability so that a total probability is maximized by changing the paths,

whereby

the particular total probability to be maximized is defined in that

-- for all successive reports and for all paths of the same length (k) the product of the observed probabilities (f)

and the particular assumed transition probabilities (u) between the grid cells of the path is formed and

-- to form the total probability, all these products are multiplied by an entry and exit transition probability ( $u_{01}$ ,  $u_{k0}$ ) for the first or last grid cell of the path.